ABSOLUTE MESSUNGEN

ÜBER DAS

AUSSTRÖMEN DER ELEKTRICITÄT

AUS SPITZEN.

Inaugural-Dissertation

zur

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

genehmigt von der hohen philosophischen Facultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

und

öffentlich zu verteidigen

am 25. Februar 1893

von

JULIUS PRECHT

aus Bremen.

Opponenten:

Jean Peters, stud. phil.
Wilhelm Röhrs, stud. phil.
Wilhelm Schmidt, stud. phil.

Münster i. W. 1893.

Druck der Aschendorffschen Buchdruckerei.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547419_0038

Wenngleich das allgemeine Verhalten der Elektricität gegen Spitzen seit langem bekannt ist, so hat man doch von der Größe der Spitzenwirkung bisher nur sehr unvollkommene Vorstellungen gewonnen, obschon erwartet werden darf, daß absolute Messungen über diesen Gegenstand für die Theorie der Blitzableiter nicht ohne Bedeutung sein werden.

Naturgemäß bieten sich hier der Untersuchung verschiedene Fragen dar. Einmal kann es sich darum handeln, die Spannung zu bestimmen, bei welcher das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen beginnt. Ferner ist zu untersuchen, bei welcher Spannung ein schon vorhandenes Ausströmen aufhört; und endlich sind Messungen der ausströmenden Elektricitätsmengen und der Beziehung zwischen diesen und den herrschenden Potentialen auszuführen. Von den hier gestellten Aufgaben behandelt die vorliegende Arbeit [1]) insbesondere die erste; doch sind auch eine Anzahl von Messungen mitgeteilt, die sich auf die übrigen Fragen beziehen und diese wenigstens teilweise erledigen.

I. Das Anfangspotential.

Daß die entladende Wirkung der Spitzen gewöhnlich überschätzt wird, hat schon Dvořák [2]) auf Grund einer beiläufigen Beobachtung hervorgehoben. Eine sehr feine Nadelspitze, die selbst bei zweihundertfacher Vergrößerung fast ganz scharf erschien, konnte einem geladenen Elektroskop bis auf $^1/_{20}$ mm genähert werden, ohne dasselbe zu entladen.

Als ein interessantes Ergebnis meiner Versuche will ich schon hier hervorheben, daß die schärfste der bisher unter-

[1]) Ein Teil derselben bildete die Lösung einer von der philosophischen Fakultät der Universität Bonn gestellten Preisfrage.

[2]) Dvořák, Wied. Ann. 19, p. 323.

suchten Spitzen (ein unter dem Mikroskop geätzter Silberdraht von 0,05 mm Durchmesser) bis zu einem Potential von rund 2500 Volt geladen werden konnte, bevor Ausströmen eintrat. Für eine gewöhnliche Blitzableiterspitze begann das Ausströmen der Elektricität erst bei einem Potential von 1500 Volt.

Versuchsmethode.

Außer einer Methode zur bequemen und sicheren Potentialmessung in einem großen Bereich mußte eine Anordnung gefunden werden, die den Beginn des Ausströmens der Elektricität aus der zu untersuchenden Spitze mit Sicherheit erkennen läßt. Unter den mannigfachen Vorrichtungen, die für diesen Zweck verwendbar schienen, wurde folgende im Princip hier zu skizzirende elektroskopische als die bequemste ausgewählt. Ihre Brauchbarkeit hat sich später durch Vergleichung mit mehreren anderen Methoden gut bewährt.

Ein Leiter a (siehe Fig. 1), der an einem Ende die Spitze trug, war am anderen mit einem Elektroskop versehen und wurde mit dem letzteren in eine leitende Hohlkugel K isolirt eingeführt. Irgend ein Punkt von a, zum Beispiel 1, stand außerdem durch den sehr großen Widerstand W mit der Kugel in directer leitender Verbindung bei 2. Wird K durch eine Elektricitätsquelle geladen, so hat bei langsamer Zufuhr der Elektricität der Punkt 1 immer dasselbe Potential wie der Punkt 2. Wenn infolge Ausströmens aus der Spitze die Spannung von a plötzlich erniedrigt wird, so vermag über W die Elektricität nicht schnell genug nachzufließen, um den Verlust auszugleichen, und die entstehende Potentialdifferenz reicht hin, einen Ausschlag des Elektroskops zu veranlassen.

Bevor ich auf die praktische Ausführung eingehe, will ich über die Methode der Potentialmessung einiges vorausschicken. Es wurden eine Reihe von Vorversuchen angestellt. Elektroskope mit schweren Stanniolblättern erwiesen sich als zu empfindlich. Auf die weitere Umgestaltung eines abgeänderten Righi'schen Elektrometers [1]), daß für hohe Potentiale

[1]) Quincke, Wied. Ann. 19, p. 569.

mehrfach mit Vorteil benutzt worden ist, wurde darum verzichtet, weil es nicht möglich war, das angestrebte Ziel, Vermeidung der Spiegelablesung, zu erreichen. Auch läßt dieses Instrument, wenn es in einem großen Intervall brauchbar sein soll, immerhin nur eine mäßige Genauigkeit zu. Aus diesen Gründen sind die Messungen mit einem gewöhnlichen Quadrantelektrometer ausgeführt, dessen eines Quadrantenpaar mit einer Metallscheibe in Verbindung stand, die durch Influenz von einer in variablem Abstande aufstellbaren Kugel geladen werden konnte. Das Potential dieser Kugel war mit dem zu messenden identisch.

Nach dem Bisherigen wird die gewählte Versuchsanordnung aus der schematischen Figur 2 leicht ersichtlich sein. Die Leidener Flasche L kann durch eine Influenzmaschine von d aus über R geladen werden. Sie trägt die messingne Hohlkugel K, in die durch Siegellack isolirt ein starker Messingdraht a eingefügt ist. Dieser, an seinem oberen Ende mit einer Hülse zum Einsetzen von Spitzen versehen, bildet am unteren Ende in der Hohlkugel den Träger eines kleinen Aluminiumblattelektroskops. W ist der oben erwähnte Widerstand, und R ist ebenfalls ein Widerstand, der den Zweck hat, die Ladung der Flasche von der Maschine aus hinreichend langsam zu gestalten. Der die Spitze tragende Draht hat bei 1 einen seitlichen, in eine leichte Messingkugel endigenden Ansatz, welcher dem Quadrantelektrometer E und zwar der in der Figur sichtbaren, mit dem einen Quadrantenpaar verbundenen Metallscheibe gegenübersteht. Durch Änderung des Abstandes von Scheibe und Kugel ließ sich die Empfindlichkeit des Elektrometers auf die einfachste Weise in sehr weiten Grenzen variiren. Zwei große Zinkcylinder, α und β, dienen dazu, das Elektrometer vor der Einwirkung anderer Ladungen als der zu messenden nach Möglichkeit zu schützen. Aus demselben Grunde und um die Umgebung der zu untersuchenden Spitze möglichst unverändert zu erhalten, wurde die Influenzmaschine (eine kleine, durch einen Wassermotor betriebene Voss-Maschine von 26 cm Scheibendurchmesser) in 3 m Abstand von der Leidener Flasche aufgestellt. Ein großer, an zwei langen Seidenfäden aufgehängter Messingconductor d besorgte von dort aus die Verbindung mit der Flasche.

Die Herstellung geeigneter Widerstände R und W bot ziemlich bedeutende Schwierigkeiten. W muß so abgeglichen sein, daß das Elektroskop in Ruhe bleibt bis zum Beginn des Ausströmens, und R muß hinreichend groß gewählt werden, damit der Ausschlag des Elektrometers langsam und stetig wächst. Ohne die vielen vergeblichen Versuche zu erwähnen, beschränke ich mich darauf, die endgültige Form der benutzten Widerstände kurz zu beschreiben. W bestand aus einem in ein gebogenes Glasrohr eingezogenen Baumwollband. Nachdem das Band durch Anhauchen den richtigen Feuchtigkeitsgehalt bekommen, wurde das Glasrohr vollständig verschlossen, sodaß an beiden Enden nur noch kurze Kupferdrähte, an denen das Band befestigt war, herausragten. Diese Drähte dienten zur Herstellung der leitenden Verbindung an den Punkten 1 und 2. Der Widerstand, der übrigens in Wirklichkeit sich in einer zur Ebene der Zeichnung senkrechten Ebene befand, blieb für die ganze Dauer der Versuche brauchbar.

Für den Widerstand R erwies sich Glas als ein sehr zweckmäßiges Material. Über den langen Messingconductor d wurden zwei weite Glasröhren geschoben, die außen bis auf ihre mit Stanniol belegten Enden ganz mit Schellack überzogen waren.

Die Beobachtung von Elektrometer und Elektroskop geschah durch Fernrohre, deren Oculare dicht neben einander standen. Der Abstand der Skala vom Spiegel des Elektrometers betrug 1,7 m. Eine horizontale Durchbohrung der Hohlkugel K machte die Beobachtung des Elektroskops möglich. Die Öffnungen wurden von innen mit feinem Drahtnetz verschlossen. Hier wie bei der ganzen übrigen Zusammenstellung der Apparate mußte darauf Bedacht genommen werden, alle scharfen Kanten und Spitzen sorgfältig zu vermeiden, was ja durch die Natur der Versuche von vornherein geboten erschien. Die eine Elektrode der Maschine, die äußere Belegung der Leidener Flasche, die beiden Zinkcylinder α und β und das eine Quadrantenpaar des Elektrometers waren beständig gemeinsam zur Erde abgeleitet. Innere Flaschenbelegung und das mit der Scheibe verbundene Quadrantenpaar konnten vom Sitze des Beobachters aus ad libitum abgeleitet oder isolirt werden.

Der Verlauf eines Versuchs ist folgender:

Nachdem Alles zur Erde abgeleitet und die Maschine durch den Motor in gleichmäßige Rotation versetzt ist, wird erst die Erdverbindung des Elektrometers, dann die der inneren Belegung der Flasche aufgehoben. Das Elektrometer beginnt langsam und gleichmäßig aus der Ruhelage auszuweichen. Das Elektroskop verharrt zunächst in Ruhe. Sobald es ausschlägt, beobachtet man den Stand des Elektrometers. Die Wiederherstellung der Erdverbindungen und das Abstellen des Motors beendigen den Versuch.

Zur Reduktion der Elektrometerangaben auf absolutes Maaß wurde der eine Pol einer Wasserbatterie von dreihundert Kupfer-Zinkelementen bei Ableitung des andern Pols mit der der Scheibe des Elektrometers gegenüberstehenden Kugel verbunden. Je nach der Entfernung der Kugel von der Scheibe variirte der Ausschlag des Elektrometers zwischen 4 und 10 Skalenteilen, von welchen der zehnte Teil noch sicher zu beobachten war. Die Hälfte dieses Ausschlags entsprach der Potentialdifferenz der Batteriepole, die wiederholt bestimmt wurde und im Mittel 250 Volt betrug. Diese Bestimmung geschah durch Vergleichung der Elemente in Gruppen von je zweien mit einem Normal-Daniell [1]), später mit Normal-Clarkelementen.

Fehlerquellen und Kontrollmethoden.

Die Ausschläge des Elektrometers waren dem Potential proportional, wie durch direkte Verbindung des einen Quadrantenpaares mit Daniellelementen bis zum größten beobachtbaren Ausschlag nachgewiesen wurde. Obgleich kaum ein Zweifel aufkommen kann, daß für die aus der Entfernung wirkende Kraft, Influenz der Kugel auf die Scheibe, dieselbe Beziehung besteht, wurden doch die Angaben des Elektrometers durch Funkenpotentiale verglichen. Nachdem der Widerstand W durch einen dicken Kupferbügel kurz geschlossen war, wurde das sonst die Spitze tragende Ende des Drahtes a mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel zur Erde abgeleitet war. Der Durchmesser der Kugeln betrug 20 mm. Die folgende Tabelle enthält in der ersten Kolonne die Funkenlängen, in der zweiten die diesen

[1]) Wiedemann u. Ebert, physik. Praktikum, Braunschweig 1890. p. 860.

entsprechenden Potentiale in absoluten elektrostatischen Einheiten, nach der beschriebenen Methode mit Elektrometer und Wasserbatterie bestimmt, und die folgenden Kolonnen geben die Funkenpotentiale anderer Beobachter.

Tabelle I.

Funkenlänge	C-G-S elektrost.	Baille[1])	Quincke[2])	Freyberg[3])
0,2 mm	4,50	4,70		
0,4 „	7,59	7,52		
0,6 „	10,39	9,97		
0,8 „	12,55	12,45		
1,0 „	14,95	14,68	14,8	15,2
1,2 „	17,17	16,87		
1,4 „	19,59	19,03		
1,6 „	21,64	21,22		
1,8 „	23,84	23,43		
2,0 „	25,46	25,51		

Die Übereinstimmung in den Resultaten ist eine so gute zu nennen, als sie nach den Abweichungen in den Funkenpotentialbestimmungen verschiedener Beobachter nur zu erwarten war. Daher kann die Brauchbarkeit der benutzten Meßmethode wohl als erwiesen betrachtet werden.

Um den Nachweis zu führen, daß der Ausschlag des Elektroskops in der That den Beginn des Ausströmens von Elektricität aus der zu untersuchenden Spitze anzeigt, sind eine Reihe von Versuchen angestellt: Messungen mit der gleichen Spitze zu verschiedenen Zeiten ausgeführt, ergeben gleichartige Resultate; bei stumpfen Spitzen erfolgt der Ausschlag des Elektroskops später als bei scharfen; wird statt der Spitze eine Kugel aufgesetzt, so erhält man keinen Ausschlag, auch wenn die Spannung bis über die Grenzen der Meßbarkeit mit dem Elektrometer steigt; bei im übrigen gleichen Versuchsbedin-

[1]) Baille: Ann. de Chim. et de Phys. T. 29, p. 181 (1883).
[2]) Quincke, Wied. Ann. 19, p. 569 (1883).
[3]) Freyberg, Wied. Ann. 38, p. 254 (1889).

gungen ist die Zeit bis zum Ausschlag des Elektroskops annähernd gleich der Zeit, nach der im Dunkeln das Aufleuchten des an der Spitze entstehenden Büschels wahrgenommen wird. Ändert man diese Zeitdauer, vom Beginn der Ladung an gerechnet, indem man die Zufuhr der Elektricität beschleunigt oder verlangsamt, so findet sich bei Anwendung derselben Spitze die Spannung immer von gleicher Größenordnung. Die Änderung der Zufuhr geschah durch eine an der einen Maschinenelektrode befestigte Spitze, welche der anderen Elektrode mehr oder weniger genähert werden konnte, sodaß über diese Entladungsstrecke ein größerer oder geringerer Teil der erzeugten Elektricität direkt zur Erde abgeleitet wurde. Naturgemäß sind bei sehr schneller Ladung die Beobachtungsfehler an der Elektrometerskala beträchtlich, während bei sehr langsamer Ladung die Bewegung des Elektroskops weniger leicht zu erkennen ist. Denn obschon sich immer ein bestimmter Zeitpunkt angeben läßt, in dem das Aluminiumblättchen zu divergiren anfängt, so erfolgt doch die Bewegung streng genommen nicht in der Art, daß sofort ein großer Ausschlag eintritt; sie beginnt vielmehr langsam, um plötzlich schnell zu wachsen.

Aus den mitgeteilten Versuchen läßt sich mit Sicherheit der Schluß ziehen, daß das Elektroskop das Ausströmen von Elektricität aus Spitzen, die auf den Draht a aufgesetzt sind, anzeigt; nur wäre noch die Frage aufzuwerfen, ob seine Bewegung auch wirklich den Beginn des Ausströmens bezeichnet. Das Entstehen eines Ausschlags ist dadurch bedingt, daß die Spannung im Punkte 1 (s. Fig. 2) um einen gewissen endlichen Wert unter die Spannung im Punkte 2 sinkt. Wenn nun das Ausströmen sehr langsam und mit geringer Intensität beginnt — besonders bei sehr scharfen Spitzen ist das wahrscheinlich —, sodaß die zwischen 1 und 2 hervorgerufene Potentialdifferenz unter diesem Werte bleibt, so erfolgt kein Ausschlag, das Ausströmen bleibt unbemerkt. Es war also notwendig, die Empfindlichkeit des Elektroskops festzustellen. Zu dem Zwecke wurden die Stellen 1 und 2 mit einer kleinen Batterie von Kupfer-Zink-Elementen verbunden. Das Elektroskop reagirt dann auf einen plötzlichen Wechsel der Pole, und die Anzahl der Elemente wurde solange vermindert, bis der Polwechsel noch eben einen wahrnehmbaren Ausschlag

des Elektroskops veranlaßte. Auf diese Weise fand sich, daß Änderungen der Spannung, die weniger als 17 Volt betragen, am Elektroskop nicht bemerkt werden können. Um mindestens diesen Betrag muß demnach die Spannung im Punkte 1 durch das Ausströmen erniedrigt werden, damit es konstatirt werden kann. Nun ist sehr wohl möglich, und nach den Versuchen besonders bei scharfen Spitzen wahrscheinlich, daß das erste Ausströmen eine viel weniger große Spannungserniedrigung zur Folge hat. In diesem Falle würde es unbemerkt bleiben, und darin besteht der Mangel der Methode.

Daher sind außer der elektroskopischen noch mehrere andere Methoden, den Beginn des Ausströmens zu markiren, untersucht und mit dieser verglichen. Die im Princip einfachste Kontrolle besteht darin, daß man im Dunkeln das Aufleuchten des Büschels an der Spitze beobachtet. Da sich herausstellte, daß das Auffinden des Büschels mit dem Fernrohr im Dunkeln schwierig war, so wurden die Versuche in der Weise ausgeführt, daß ein Beobachter in nächster Nähe der Spitze das Auftreten des Büschels konstatirte, während ein anderer in diesem Augenblick das Elektrometer ablas, nachdem er zuvor die Skala desselben plötzlich beleuchtet hatte. Der letztere konnte dann auch noch das gleichzeitig beleuchtete Elektroskop beobachten. Herr Dr. Lenard hatte die Freundlichkeit, die Beobachtung von Elektrometerskala und Elektroskop zu übernehmen [1]). Die plötzliche Beleuchtung geschah durch Glühlampen. Es ergab sich, daß der Büschel stets etwas eher auftrat als der Ausschlag des Elektroskops; dieses befand sich noch in Ruhe, begann aber alsbald seine Bewegung. Der Unterschied war nicht so groß, daß die Stellung des Elektrometers in der Zwischenzeit sich sehr merklich verändert hätte. Die Übereinstimmung im Wesentlichen bestätigt also die Brauchbarkeit des Elektroskops, abgesehen davon, daß seine Anwendung frei ist von den vielen handgreflichen Übelständen, welche die Beobachtung des Büschels mit sich bringt.

Zum Teil ähnliche Mängel haften auch der folgenden Methode an, die indessen zu einigen sehr interessanten Beobach-

[1]) Ich fühle mich gedrungen, auch an dieser Stelle Herrn Dr. Lenard für die stets bereitwillige Unterstützung meiner Versuche meinen Dank auszusprechen.

tungen führte. Es ist bekannt, daß ausströmende Elektricität in einem Dampfstrahl zur Bildung von Kondensationskernen Anlaß giebt, die sich durch ein Dichterwerden des Strahls und eine Änderung seiner Farbe sehr deutlich bemerkbar macht [1]). Die Reaktion ist mit Vorteil für den vorliegenden Zweck zu verwenden. Der Dampfstrahl entströmte einem Glasrohr, das 10 cm über der Spitze und etwa 3 cm seitlich davon endete. Um jeden Einfluß von Flammengasen auf den Strahl und die Spitze auszuschließen, wurde der Dampfkessel außerhalb des Zimmers aufgestellt. Für eine stumpfe Spitze ergaben die Versuche völlige Übereinstimmung zwischen der Dampfstrahlreaktion und dem beginnenden Elektroskopausschlag. Bei sehr scharfen Spitzen fand sich die interessante Erscheinung, daß der dauernden Änderung des Dampfstrahls, welcher der Ausschlag des Elektroskops sehr kurz nachfolgte, eine Anzahl momentaner Reaktionen im Strahl voraufgingen. Vor dem beständigen Ausströmen der Elektricität erfolgte also eine Reihe kleiner stoßweiser Entladungen. In einem besonderen Falle wurde festgestellt, daß das erste momentane Auftreten der Reaktion bei einer Spannung von 2400 Volt, die dauernde Veränderung des Strahles dagegen bei 3700 Volt Spannung eintrat.

Unter Entladungs- oder Anfangspotential soll im folgenden immer die Spannung verstanden werden, welche den Beginn des continuirlichen Ausströmens bezeichnet.

Obgleich auch das Elektroskop bei sehr scharfen Spitzen durch kleine Zuckungen die Stöße anzeigt, so erscheint doch diese Definiton durch die Thatsachen allein gerechtfertigt, denn bei stumpfen Spitzen waren Schwankungen infolge stoßweisen Ausströmens nicht zu bemerken. — Im übrigen liefert die allgemeine Übereinstimmung der Dampfstrahlreaktion mit dem Elektroskopausschlag eine weitere gute Bestätigung der Methode. Die Nachteile der Anwendung des Dampfstrahls, Änderung der Zimmerluft und Anwesenheit eines Leiters in der Nachbarschaft der Spitze entscheiden zu gunsten des Elektroskops; denn sucht man sie zu vermeiden, so ist immer das Elektroskop empfindlicher.

[1]) R. von Helmholtz, Wied. Ann. 32. p. 1. Versuche mit einem Dampfstrahl.

Eine andere Methode ist durch Benutzung des Rückstoßes gegeben, der ein elektrisches Flugrädchen bewegt. Statt des Rädchens diente ein kleiner, aus Aluminium hergestellter Wagebalken, der auf der einen Seite eine aufwärts gerichtete Spitze trug. Der Balken wurde auf einer, 1 mm breiten, am Ende des Drahtes a befestigten Schneide gut aequilibrirt. Beim Ausströmen von Elektricität bewegt sich die Seite mit der Spitze abwärts. Ein Vergleich dieser Reaktionswage mit dem Elektroskop ergab, daß die Wage nur wenig empfindlicher war. Auch hier wurden vor dem eigentlichen Ausströmen kleine Schwankungen der Wage beobachtet, die mit geringen Bewegungen des Elektroskops gleichzeitig waren.

Endlich ist auch ein Galvanometer zur Kontrolle des Elektroskops gebraucht. Der Draht a, (Fig. 2), der sonst die Spitzen trug, wurde verlängert und mit der einen Klemme eines durch Siegellackstützen völlig isolirten Galvanometers verbunden. Die andere Klemme wurde mit einem langen, vertikal nach oben gerichteten Draht versehen, der in die Spitze frei endigte. Das benutzte Galvanometer war ein du Bois-Reymondsches Instrument mit 12000 Windungen, für direkte Ablesung eingerichtet. Es zeigte sich, daß bei dieser Versuchsanordnung das Galvanometer sehr nahezu die gleiche Empfindlichkeit hatte, wie das Elektroskop.

Die gute Übereinstimmung der verschiedenartigen Methoden beweist, daß der Ausschlag des Elektroskops in der That als Kriterium für den Beginn des Ausströmens gelten kann. Zugleich führte die Untersuchung zu dem interessanten Ergebnis, daß dem andauernden Ausströmen besonders bei scharfen Spitzen kleine stoßweise Entladungen vorhergehen. Als Entladungspotential wurde die Spannung definirt, die dem Anfang des andauernden Ausströmens entspricht.

Die meisten der im folgenden zu beschreibenden Versuche sind nach der elektroskopischen Methode angestellt.

Resultate.

1. Der Wert des Entladungspotentials ist nicht unabhängig davon, ob kurz zuvor ein Ausströmen von Elektricität aus der Spitze stattgefunden hat oder nicht. Zum Beispiel zeigte sich in einer Reihe von 25 sehr schnell hintereinander ausgeführten Beobachtungen mit negativer Ladung ein bestän-

diges Anwachsen der Spannung bis zur achtzehnten Beobachtung. Diese übertraf die erste um fast 25 Procent. Von da ab blieben die Ausschläge des Elektrometers merklich konstant. Die Erscheinung hat ihre Ursache zum Teil in der Änderung der Spitzenoberfläche durch die Entladung, zum Teil in einer Ladung ihrer Umgebung. Der letztere Einfluß ließ sich durch eine Pause zwischen den aufeinanderfolgenden Versuchen vermeiden; 3 Minuten waren ausreichend. Alsdann wichen Beobachtungen mit gleicher Ladung noch in einem Intervall von höchstens drei Skalenteilen unter einander ab. Meist wurden abwechselnd Versuche mit positiver und negativer Ladung angestellt. Jeder angegebene Potentialwert ist das Mittel aus wenigstens vier Beobachtungen.

2. Staub erschwert eigentümlicher Weise das Ausströmen von Elektricität. In stark stauberfüllter Luft wurde die Spannung in einem speciellen Falle um 10 Procent höher gefunden als in staubfreier. Dieser Versuch beweist erstens, daß der Staub schwerlich als die Ursache des Ausströmens angesehen werden kann, zweitens daß Staubteile an der Spitze das Potential wohl ändern können, es aber keineswegs der Größenordnung nach bestimmen. Derselbe Schluß muß schon aus den gleichartigen Resultaten gezogen werden, die man bei der Untersuchung der gleichen Spitze zu verschiedenen Zeiten erhält. Ob der Einfluß des Staubes darin besteht, die elektrisirte Spitze, von der er ja angezogen wird, dicht zu bedecken und dadurch gleichsam abzustumpfen, oder ob sich eine Wolke gleichnamig geladener Staubteilchen über der Spitze bildet, blieb unentschieden. (Es scheint nicht überflüssig, zu erwähnen, daß Teilchen von der Größe der Staubkörnchen von geladenen Oberflächen im allgemeinen nicht fortfliegen, sondern haften.)

3. Flammengase in der Umgebung der Spitze erhöhen das Entladungspotential. Ihr Einfluß wurde zuerst beobachtet, als das Elektroskop, statt wie gewöhnlich mit einem Spiegel, durch eine in 2 m Abstand aufgestellte Gasflamme beleuchtet wurde. Die Größe des dabei auftretenden Unterschiedes ergiebt sich aus folgender Tabelle. Zwischen dem zweiten und dritten Versuch wurde das Zimmer längere Zeit gelüftet.

Tabelle II.

	positiv	negativ
	Volt	Volt
Tageslicht	4700	3700
Gasflamme	5800	4500
Tageslicht	4800	3800

Da die große Differenz zum Teil auch von der Veränderung des Lichtes herrühren konnte, so wurde der Versuch in der Weise variirt, daß die Luft des Arbeitszimmers durch halbstündiges Brennen von vier Gasflammen mit Verbrennungsgasen geschwängert wurde. Nach dem Löschen der Flammen fand sich nun für das Spitzenpotential bei negativer Ladung der Wert 4400 Volt, während er vor Beginn des Versuches zu 3900 Volt bestimmt war. Durch die Anwesenheit der Verbrennungsgase wird also das Ausströmen bedeutend erschwert. Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, daß das Elektroskop vor dem endgültigen Ausschlag vom Beginn der Ladung an kleine zuckende Bewegungen machte, die darauf hindeuten, daß bei dieser Beschaffenheit der Umgebung schon außerordentlich kleine Elektricitätsmengen aus der Spitze entladen wurden. Die negative Elektricität fand scheinbar gar keinen Widerstand beim Übergang in die Gase. Bei positiver Ladung ist der Verlauf ganz analog; der weite Ausschlag des Elektroskops erfolgt bei höherer Spannung als der normalen. Die kleinen Bewegungen des Blättchens beginnen dagegen nicht sofort, sondern erst nach einiger Zeit, und sie sind seltener. — Daß Flammengase in hervorragendem Maße die Eigenschaft haben, die Elektricität längere Zeit festzuhalten, ist oft bemerkt worden. In obigen Versuchen war die sehr starke Ladung der Luft noch 40 Minuten lang mit dem Exnerschen Elektroskop und einer kleinen Flamme nachweisbar.

Aus allem ergab sich die Notwendigkeit, die Versuche fortan nur bei Tage anzustellen. Da das Tageslicht durch Fensterscheiben einfiel, so war es zugleich vom größten Teil der ultravioletten Strahlen befreit.

4. Ultraviolettes Licht hat bekanntlich die Eigenschaft,

die Entladung negativer Elektricität zu begünstigen [1]). Dieser Einfluß übte auch auf das Entladungspotential der Elektricität aus Spitzen seine Wirkung. Wurde dieselbe Nadelspitze einmal in vollem nicht durch Glasscheiben filtrirtem Sonnenlicht und dann im Dunkeln bei Glühlichtbeleuchtung von Skala und Elektroskop untersucht, so fand sich die Spannung

bei Sonnenlicht + 5380 Volt — 3680 Volt
im Dunkeln + 5330 Volt — 3860 Volt.

Man erkennt deutlich das leichtere Ausströmen unter dem Einflusse des ultravioletten Lichts. Auf das positive Potential ist keine Einwirkung zu bemerken. Da das Licht der übrigens sehr kleinen Glühlampen ja auch durch Glaskugeln hindurch gehen mußte, so läßt sich gegen ihre Verwendung kein Einwand erheben. — Die Versuche wurden später in der Weise wiederholt, daß das Licht von Induktionsfunken, die zwischen Zinkspitzen übergingen und daher an ultravioletten Strahlen reich waren, durch eine Quarzlinse auf die zu untersuchende Spitze koncentrirt wurde. War letztere eine amalgamirte Zinkspitze [2]), so betrug die Spannungserniedrigung durch Belichtung im Mittel aus vielen Versuchen 800 Volt = 7 Procent, bei Anwendung einer Platinspitze 500 Volt = 5 Procent. Durch Einschaltung einer Glasscheibe zwischen Quarzlinse und Spitze wurde die Wirkung aufgehoben, ein Beweis, daß in der That ein Einfluß der ultravioletten Strahlen vorlag. Verschiedene Erscheinungen lassen schliessen, daß infolge der Belichtung außerordentlich kleine Elektricitätsmengen schon sehr frühzeitig entladen werden. Eine Änderung der Spannung beim Beginn des Ausströmens positiver Elektricität konnte aus den Beobachtungen nicht gefolgert werden.

5. Leitende Flächen in der Umgebung der Spitze erleichtern das Ausströmen, wie zu erwarten war. Die nächsten Leiter unterhalb der Spitze, vor allem der nur 24 cm entfernte obere Rand des Zinkschirmes β (siehe Fig. 2), beeinflussen den Wert der Spannung nicht; denn er blieb derselbe, wenn ein ähnlicher Leiter in entsprechender Stellung auf der andern Seite der Flasche angebracht wurde. Der Einfluß von Leitern

[1]) H. Hertz, über einen Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. Wied. Ann. 31. p. 983.

[2]) Elster u. Geitel, Wied. Ann. 39, p. 332.

über der Spitze wurde durch ein horizontal befestigtes, zur Erde abgeleitetes Messingdrahtnetz von 25 qcm Fläche untersucht. Bei kleinem Abstand von der Spitze wird die Entladungsspannung erheblich herabgedrückt; die Verminderung nimmt bei wachsendem Abstand anfangs schnell, später sehr langsam ab. Der Verlauf ist derselbe, wenn in das Drahtnetz sehr viele feine Nähnadeln (75) mit der Spitze nach unten eingesetzt werden. Für letzteren Fall enthält die folgende Tabelle die Resultate:

Tabelle III.

Höhe über d. Sp.	positiv	negativ
	Volt	Volt
5 cm	3600	2800
10 „	4000	3100
15 „	4200	3300
20 „	4400	3500
25 „	4500	3600
∞	5000	3800

Die letzte Zeile bezieht sich auf die für alle folgenden Versuche konstante Bedingung, daß die Zimmerdecke der nächste Leiter über der Spitze ist. Ihre Entfernung von der Spitze betrug $3^1/_4$ m. Die Tabelle läßt erkennen, daß in ganz freiem Raume die Spannung noch etwas größer sein würde.

6. Die Übereinstimmung von Messungen, die mit der gleichen Spitze zu verschiedenen Zeiten angestellt wurden, ist keine sehr gute zu nennen. Die Beobachtungen derselben Versuchsreihe zeigen unter einander Abweichungen bis zu 4 Procent, während der Unterschied der Resultate verschiedener Versuchsreihen bis zu 8 Procent des Mittels aus allen Beobachtungen betragen kann. Um ein Beispiel zu geben, führe ich die ungünstigsten Ergebnisse an, die mit derselben Spitze an verschiedenen Tagen erhalten wurden. Die Zusammenstellung läßt erkennen, daß die Differenzen unter Umständen noch beträchtlicher sein können.

Tabelle IV.

	positiv	negativ
Januar 28	4190 Volt	3031 Volt
„ 29	4094 „	3004 „
„ 30	4306 „	3273 „
Februar 2	4517 „	3434 „
„ 4	4348 „	3203 „
Mittel	4300 „	3200 „

7. Die Ursache dieser verhältnismäßig geringen Genauigkeit liegt nicht in der angewandten Methode, sondern muß wesentlich in der Änderung der Spitze durch die Versuche gefunden werden, zu der ja mannigfache Ursachen zusammenwirken. Oxydation des Metalls durch chemische Einwirkung der Entladung war an einer längere Zeit zwischen den Elektroden benutzten Stahlspitze durch einen dicken Oxydüberzug stark erkennbar. Auch die Veränderlichkeit der Menge des vom Metall adsorbirten und occludirten Gases sowie die Zerstäubung des Metalls kann beträchtliche Änderungen der Entladungsspannung bewirken.

8. Versuche über die Zerstäubung des Metalls führten zu einigen recht interessanten Resultaten. Nachdem an einer Nähnadelspitze anderthalb Stunden lang ein positiver Büschel erzeugt war, zeigte sich das Spitzenpotential um rund 500 Volt größer als vorher. Die Figuren 3 und 4 wurden durch Zeichnung der Nadel unter dem Mikroskop bei fünfhundertfacher Vergrößerung [1]) vor und nach der Zerstäubung erhalten. Man erkennt deutlich, daß eine starke Veränderung stattgefunden hat; die Verdickung an den Seiten scheint eine Folge der Oxydation zu sein. Oft zeigt die zerstäubte Spitze eine kraterförmige Vertiefung (Fig. 5). Auffällig ist, daß der analoge Versuch mit negativem Büschel die Spitze ganz unverändert läßt; sie ist nur sehr dicht mit Staub bedeckt, liefert aber nach dem Abwischen desselben bei fünfhundertfacher Vergrößerung genau die gleiche Zeichnung wie vor der Entladung. Die Erhöhung des Entladungspotentials nach der Erzeugung eines positiven Büschels an der Spitze kann zum Teil von einer chemi-

[1]) Die Figuren der Tafel sind nach den Originalen auf die Hälfte verkleinert, ebenso 5 und 6.

schen Veränderung der Oberfläche herrühren, zum Teil wird sie ihren Grund haben in der Abstumpfung der Spitze durch die Zerstäubung. Welcher dieser Faktoren mehr dabei beteiligt ist, war nicht zweifellos zu entscheiden. Die kleineren Spitzen und scharfen Kanten der kraterförmigen Vertiefungen sollten ein leichteres Ausströmen nach der Zerstäubung vermuten lassen. Da in Wirklichkeit das Umgekehrte stattfindet, so wäre daraus auf eine chemische Veränderung der Oberfläche zu schließen, die der Entladung einen größeren Widerstand bietet. Andererseits zeigte sich, daß so kleine Spitzen, die gleichsam auf einer größeren wachsen, das Entladungspotential nicht wesentlich bestimmen. (vgl. 10.) Die zerstäubten Spitzen wären demnach immer als abgestumpft zu betrachten.

9. Daß aber die Elektricität aus stumpfen Spitzen schwerer ausströmt als aus scharfen, ist ein ganz allgemeines Ergebnis der Versuche. In der That wird man nichts anderes erwarten. Demgemäß wird das Entladungspotential von Spitzen, die bei Betrachtung mit dem Mikroskop schärfer erscheinen, kleiner gefunden als bei stumpferen. Sehr schön erläutert das die beigegebene Zeichnung (Fig. 6), welche zwölf der untersuchten Spitzen darstellt, die bei hundertfacher Vergrößerung mit Hülfe der Camera lucida gezeichnet wurden. Oben sind die Potentialwerte bei positiver Ladung eingetragen. Um die Spitzen kurz zu charakterisiren, erwähne ich, daß Nr. 1 ein unter dem Mikroskop geätzter Silberdraht von 0,05 mm Durchmesser ist; Nr. 2 bis 6 sind Nähnadeln verschiedener Handelsnummern (Nr. 2 aus einer sehr feinen Nadel geätzt), 7 und 8 sind Sattlernadeln, 9 bis 12 endlich die Enden von Stricknadeln. Durch Vergleichung ihrer Zeichnungen kann man eine Reihe von Nadeln mit ziemlicher Sicherheit so ordnen, wie es der Aufeinanderfolge der Entladungspotentiale entspricht, auch wenn die Unterschiede weniger bedeutend sind als in der gegebenen Zusammenstellung. — Über das Verhalten sehr scharfer Spitzen möge eine kurze Bemerkung hier Platz finden. Schon oben ist erwähnt, daß das Elektroskop nur auf ein Ausströmen reagirt, das eine Spannungserniedrigung von gewisser Größe zur Folge hat, und ferner, daß bei ganz feinen Spitzen Zuckungen des Elektroskops beobachtet wurden. Es wird von Interesse sein, die untere Grenze der Spannung kennen zu lernen, bei der das Zucken auftrat, denn dieses ent-

spricht ja auch einem Ausströmen. Für eine aus Blattaluminium geschnittene Spitze erfolgte das erste Zucken bei + 1871, — 1065 Volt; der definitive Ausschlag wurde erst bei + 4173, — 2971 Volt beobachtet.

10. Nicht die zufällige Beschaffenheit des letzten Elementes der Spitze bestimmt die Spannung beim Ausströmen — das bewies schon der verhältnismäßig kleine Einfluß von Staub —, sondern ihre ganze Configuration. Besonders deutlich wird das aus der folgenden Tabelle, die das Anfangspotential für Stanniolspitzen verschiedenen Spitzenwinkels enthält. Die Spitzen wurden in der durch Fig. 7 dargestellten Form aus gewöhnlichem Stanniol geschnitten. Zum kleineren Spitzenwinkel gehört das kleinere Potential.

Tabelle V.

Winkel	positiv	negativ	Differenz
90 °	8500 Volt	5900 Volt	2600 Volt
75 °	7800 „	5200 „	2600 „
60 °	6900 „	4800 „	2100 „
45 °	5300 „	3700 „	1600 „
30 °	4600 „	3200 „	1400 „
15 °	4200 „	3100 „	1100 „

Bei fünfhundertfacher Vergrößerung erschienen die Spitzen am äußersten Ende sehr ungleich gezackt.

11. Eine einfache Beziehung zwischen der Gestalt der Spitze und der zum Ausströmen erforderlichen Spannung scheint nach dieser Tabelle nicht zu bestehen. Daß überhaupt für stumpfere Spitzen eine größere Spannung nötig ist, als für scharfe, bleibt noch zu erklären.

Die einfachste Annahme, die man machen kann, besteht darin, daß man den zu überwindenden Widerstand als konstant voraussetzt, einerlei, ob die Entladung aus einer stumpfen oder scharfen Spitze erfolgt. Es ist dann notwendig, daß die auf verschiedenen Spitzen angehäuften Elektricitätsmengen unmittelbar vor dem Durchbrechen des Dielektricums stets die gleiche Dichtigkeit haben. Da aber die Dichtigkeit bei gleich hohen Potentialen auf der schärferen Spitze die größere ist, so folgt, daß bei gleicher Dichtigkeit auf der stumpferen Spitze

das größere Potential herrscht, also ist auch das Entladungspotential für die stumpfere Spitze größer, es strömt schwerer Elektricität aus.

12. Es wurde versucht, unter der Annahme konstanter Entladungsdichtigkeit das Potential als Funktion des Krümmungsradius der Spitze darzustellen und die aufgefundene Beziehung durch das Experiment zu bestätigen. Zu dem Zweck wurde die Spitze mit dem Leiter, auf dem sie sich befindet, als ein gestrecktes Rotationsellipsoid aufgefaßt. Für das Potential desselben giebt die Theorie die Bezeichnung

$$V = \frac{Q}{2e} \log \frac{a + e}{a - e}$$

worin Q die Elektricitätsmenge, a die große Halbaxe und e die Excentricität des Ellipsoids bezeichnet [1]). Führt man die Dichtigkeit ε am Endpunkt der großen Axe ein, die gegeben ist durch

$$\varepsilon = \frac{Q}{4\pi c^2}$$

wo c die kleine Halbaxe bezeichnet und ferner den Krümmungsradius des Ellipsoids

$$\varrho = \frac{c^2}{a}$$

so wird durch Elimination von Q

$$\varepsilon = V \cdot \frac{\sqrt{a^2 - a\varrho}}{2\pi a \varrho} \cdot \frac{1}{\log \frac{a + \sqrt{a^2 - a\varrho}}{a - \sqrt{a^2 - a\varrho}}}$$

Da ϱ sehr klein ist, so ist $a\varrho$ gegen a^2 zu vernachlässigen und man erhält nach einigen Umformungen

$$\varepsilon = \frac{V}{2\pi\varrho \cdot \log \frac{4a}{\varrho}} \qquad (1)$$

Ist nun, wie vorausgesetzt, im Moment der Entladung die Dichtigkeit an der Spitze, also ε, konstant, so wird für eine andere Spitze

$$\varepsilon = \frac{V_1}{2\pi\varrho_1 \cdot \log \frac{4a_1}{\varrho_1}} \qquad (2)$$

---

[1]) Neumann, das Potential, Leipzig 1887. p. 355.

oder

$$\frac{V}{\varrho \cdot \log \frac{4a}{\varrho}} = \frac{V_1}{\varrho_1 \cdot \log \frac{4a_1}{\varrho_1}} = \text{constans} \quad (3)$$

Bildet man die Differentialquotienten $\frac{dV}{d\varrho}$ und $\frac{dV}{da}$, so ergiebt sich durch Einsetzen numerischer Werte für a und ϱ, daß $\frac{dV}{da}$ gegen $\frac{dV}{d\varrho}$ vollständig zu vernachlässigen ist. Somit ist also V nur Funktion von ϱ, und wir können schreiben

$$\frac{V}{\varrho \cdot \log \frac{\varkappa}{\varrho}} = \frac{V_1}{\varrho_1 \cdot \log \frac{\varkappa}{\varrho_1}} = \text{constans} \quad (4)$$

worin $\varkappa$ eine willkürliche Konstante bezeichnet. Die Krümmungsradien konnten aus den Zeichnungen der vergrößerten Spitzen gemessen werden. Die aufgestellte Beziehung (4) fand sich indessen durch die Versuche nicht bestätigt, sei es daher, daß die Spitzen doch nur in roher Annäherung Ellipsoide darstellen, sei es, daß die Annahme gleicher Dichtigkeit überhaupt nicht berechtigt ist [1]).

13. Ein Blick auf die bisher mitgeteilten Beobachtungen zeigt, daß der Wert der Spannung bei negativer Ladung der Spitze stets kleiner gefunden wurde als bei positiver. Dennoch ist das kein allgemeines Resultat, so sehr es auch mit einer Reihe von Erfahrungen übereinstimmen würde, die man seit Belli und Faraday [2]) über die Artunterschiede der Elektricität gemacht hat. Es ergaben sich nämlich an zwei Beobachtungstagen für mehrere stumpfe Spitzen größere negative Werte, für eine Spitze gleiche positive und negative Eine das letzte Mal durchgängig mitgeprüfte, im Vergleich mit den übrigen scharfe Spitze gab stets größeres positives Potential, sodaß der Grund der Abweichungen bisher unaufgeklärt blieb. Bei Anwendung einer Platte über der Spitze war der negative Wert stets kleiner.

[1]) Anm.: Herr Chattock, der vor kurzem eine Untersuchung über die Entladung zwischen einer Spitze und der Innenfläche einer Kugelschale bei mäßiger Luftverdünnung angestellt hat, [Phil. Mag. (5) 32, p. 285 (1891)], findet das Product f. $r^{0,8}$ (f = Stärke des elektrischen Feldes, r = Krümmungsradius) für ein gewisses Intervall der r konstant, doch enthält die gegebene Tabelle auch stark abweichende Werte.

[2]) Faraday, Exp. Res. I, § 1520; ferner Series XIII.

Die Frage, ob negative Elektricität leichter ausströmt als positive, ist schon mehrfach behandelt, wenn auch nicht in der Form, daß der Beginn der Entladung in Betracht gezogen wurde. Ich gebe unten [1–5]) einige Quellen an, in denen man über diesen Gegenstand etwas findet. Aus der Gesamtheit des Bekannten ergiebt sich ein sehr merkwürdiges wechselndes Verhalten der negativen Elektricität, dessen bedingende Umstände nicht aufgeklärt sind. Aus diesem Grunde ist es zwecklos, über seine Ursachen irgend eine Anschauung auszusprechen.

Als ein vorläufiges Ergebnis leitet Herr Chattock aus seinen Versuchen ab, daß das Verhältnis der elektrischen Feldstärke bei positiver zu der bei negativer Ladung mit wachsendem Krümmungsradius abnimmt. In Wirklichkeit scheint auch hier keine einfache Gesetzmäßigkeit zu bestehen; denn während aus meiner Tabelle V das Umgekehrte folgen würde, daß nämlich dieses Verhältnis für stumpfere Spitzen wächst, zeigt die folgende Tabelle, in der für eine Reihe von Spitzen die Werte des Anfangspotentials bei positiver und negativer Ladung zusammengestellt sind, überhaupt kein Fortschreiten der Differenzen in einem bestimmten Sinne.

Die Tabelle VI enthält außer den Potentialwerten für die zwölf in Fig. 6 dargestellten Spitzen noch die Angaben für einige Blitzableiterspitzen. (Nr. 13 sogenannte Büschelspitze, 14 und 15 gewöhnliche Ableiterspitzen; 16 ist ein vorn abgerundeter Messingdraht von 4 mm Stärke.) Es ergiebt sich, daß erst bei einer Spannung von 15000 Volt das Ausströmen von Elektricität aus einem Blitzableiter gewöhnlicher Beschaffenheit beginnt.

Um die Spannung in absoluten elektrostatischen Einheiten zu bekommen, sind die gegebenen Zahlen durch 300 zu dividiren.

[1]) Röntgen, Entladungen der Elektricität in Isolatoren. Gött. Nachr. 1878, p. 390.

[2]) Wesendonck, Wied. Ann. 30, p. 1.

[3]) Wesendonck, Wied. Ann. 39, p. 577 (1890).

[4]) v. Obermayer, Wien. Ber. 100 (II[a]) (1891). p. 127.

[5]) Chattock, l. c.

Tabelle VI.

laufende Nummer	Ladung positiv	Ladung negativ	Differenz
1	3100	2300	800
2	3600	2500	1100
3	4300	3200	1100
4	4800	3400	1400
5	5200	4400	800
6	5750	4800	950
7	7200	5850	1350
8	8450	7700	750
9	9100	8500	600
10	9750	9150	600
11	10450	10100	350
12	13600	13050	550
13	14000	12750	1250
14	15250	12500	2750
15	17100	14600	2500
16	21300	20450	850

14. Ein Büschel von Spitzen läßt die Elektricität schwerer ausströmen als die einzelne Spitze. Eine Reihe von Nähnadeln derselben Handelssorte, die unter einander eine ziemlich gleichartige Beschaffenheit hatten, wurden zu einem Spitzenbüschel vereinigt und ebenso untersucht wie die einzelnen Spitzen. Je mehr Nadeln man vereinigt, um so höher wird das Potential gefunden.

Tabelle VII.

Anzahl der Nadeln.	positiv	negativ
1	4300 Volt	3000 Volt
5	4900 „	3200 „
10	5600 „	4200 „
20	7600 „	5700 „

Der in dieser Tabelle für eine Nadel angegebene Wert ist ein Mittelwert aus Beobachtungen mit beliebigen fünf aus den zwanzig ausgewählten Nadeln. Viele gleiche Spitzen verhalten sich demnach wie eine stumpfere; auch ist die Ursache der Erscheinung offenbar dieselbe, die den Unterschied der Werte

bei stumpfen und scharfen Spitzen bedingt. Die Zahl der Kraftlinien ist bei gleicher Ladung an der einzelnen Spitze größer als an mehreren. Ist nun zum Durchbrechen der Luft stets die gleiche Anzahl Kraftlinien pro Flächeneinheit erforderlich, so wird diese Zahl an der einzelnen Spitze früher erreicht werden als an vielen; aus der einzelnen erfolgt daher das Ausströmen beim kleineren Potential.

15. Eine Schneide kann man sich aus sehr vielen dicht nebeneinanderstehenden Nadeln zusammengesetzt denken, und es wurde daher erwartet, daß für kürzere und längere Stücke derselben Schneide dieselbe Beziehung gelten würde wie für eine größere oder kleinere Anzahl gleicher Spitzen. Für verschieden lange, rechteckige Stücke desselben sehr scharf geschliffenen Messers zeigte sich das in der That. Die Schneide stand bei diesen Versuchen horizontal und war nach oben gerichtet.

Tabelle VIII.

Länge der Schneide	positiv	negativ
18 mm	8700 Volt	6250 Volt
9 „	8200 „	5600 „
4,5 „	7950 „	4950 „

Hier ist übrigens die wesentliche Bemerkung zu machen, daß diese Zahlen in Wirklichkeit keinem Ausströmen aus den Schneiden selbst entsprechen. Bei Beobachtung im Dunkeln stellte sich nämlich heraus, daß nur an den oberen scharfen Ecken der Schneiden Büschelbildung eintrat, sodaß die Werte der obigen Tabelle außer durch die zufällige Verschiedenheit der Ecken nur durch die wachsende Entfernung zwischen den beiden Büscheln bedingt sind. Ein Leuchten an der Schneide ist nie beobachtet worden. Auch bei einem äußerst feinen Präparirmesser vom beiläufigen Potentialwert + 6400, — 4900 Volt, leuchtete stets nur die Spitze. Die Büschel hatten gleiche Gestalt für positive und negative Ladung; ihre Größe wuchs bei Annäherung der Hand, doch die Schneide blieb dunkel.

16. Verschiedene Gase ändern den Wert der Entladungsspannung in verschiedener Weise. Die Versuche sind so angestellt, daß die Spitze (eine feinere Nähnadel) in einen zur Erde abgeleiteten Messingcylinder, der als Gasbehälter diente,

isolirt und gasdicht eingesetzt wurde. Die Gase wurden vor Einführung in den Cylinder durch Schwefelsäure, Chlorcalcium und Wattefilter von Feuchtigkeit und Staub in gleicher Weise befreit, und die Versuche sind kurz hinter einander ausgeführt um die Gase unter möglichst gleichen Druck- und Temperaturverhältnissen zu untersuchen. Ich gebe im Folgenden das Mittel aus zwei zu verschiedenen Zeiten erhaltenen Versuchsreihen; bei der ersten wurde die elektroskopische, bei der zweiten die galvanometrische Methode benutzt; beide zeigten gute Übereinstimmung.

Tabelle IX.

	positiv	negativ
Luft	2750 Volt	2050 Volt
H	2125 „	1550 „
N	2600 „	2000 „
O	2800 „	2350 „
CO_2	3475 „	2100 „

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die Änderungen in verschiedenen Gasen nicht sehr bedeutend sind und dass die Größe der Änderung für positive und negative Elektricität verschieden ist. Der Artunterschied bleibt indessen in gleichem Sinne bestehen; denn die negativen Werte sind in allen Gasen kleiner als die positiven. Auffällig ist die geringe Änderung der Spannung im Wasserstoff, die in beiden Versuchsreihen zweifellos hervortrat. Diese macht das Aufstellen einer ähnlichen Beziehung, wie sie Herr Röntgen [1]) angiebt für das Potential, bei dem das Ausströmen in verdünnten Gasen aufhört, hier unmöglich, obschon nach der Leichtigkeit des Ausströmens positiver Elektricität geordnet die Reihenfolge der Gase dieselbe ist, wie die der steigenden Dichten oder der abnehmenden molekularen Weglängen. Bemerkenswert ist die annähernde Übereinstimmung der Werte für negative Elektricität bei N, CO_2 und Luft, sowie das beträchtliche Anwachsen des positiven Entladungspotentials in CO_2.

[1]) Röntgen, l. c. p. 402. R. findet das Produkt aus dieser Spannung und der mittleren Weglänge der Moleküle für verschiedene Gase konstant.

17. Eine besondere Einwirkung des Metalles der Spitze, unabhängig von ihren geometrischen Verhältnissen, war nicht zu konstatiren. Eine Stahlnadel ergab gleiche Werte der Spannung beim Ausströmen, auch nachdem sie galvanisch mit einem Kupferüberzug versehen war. Die Gestalt der Nadel erschien bei fünfhundertfacher Vergrößerung ungeändert. Der Versuch beweist nichts über die absolute Größe einer vielleicht zwischen Metall und Gas bestehenden Kontaktkraft, sondern zeigt nur, daß die Unterschiede in der Größe derselben bei Anwendung verschiedener Metalle jedenfalls unterhalb der hier möglichen Fehlergrenze liegen.

18. Überblicken wir noch einmal im Zusammenhang die Fülle der mitgeteilten Thatsachen, so muss zugegeben werden, daß eine einheitliche Erklärung derselben bei der Komplicirtheit der Erscheinungen unmöglich ist. Auch war der Zweck der Arbeit wesentlich die Feststellung der thatsächlichen Verhältnisse, unter denen Elektricität aus einer freiendigenden Spitze in gewöhnlicher Luft auszuströmen anfängt.

Die wichtigsten Resultate fasse ich hier kurz zusammen:

Spitzen können im allgemeinen sehr weit geladen werden, bevor Elektricität aus ihnen ausströmt. Blitzableiterspitzen bewirken einen ruhigen Ausgleich zwischen elektrischen Ladungen in der Athmosphäre und der Erde nur dann, wenn dabei an der Spitze eine Spannung von 15 000 Volt erreicht wird. Selbst außerordentlich scharfe Spitzen lassen sich bis rund 2500 Volt laden, ohne daß ein andauerndes Ausströmen stattfindet; doch deuten viele Erscheinungen darauf hin, daß kleine momentane Entladungen schon bei beträchtlich geringerer Spannung erfolgen. Aus stumpfen Spitzen strömt schwerer Elektricität aus als aus scharfen, doch bestimmen sehr kleine Erhebungen an einer Spitze, seien sie metallischer Natur oder durch Staubteile gebildet, das Potential nicht wesentlich. Staub in großer Menge und Flammengase in der Umgebung der Spitze erschweren das Ausströmen, Bestrahlung mit ultraviolettem Licht befördert es. Verschiedene Gase ändern die Entladungsspannung für positive und negative Elektricität in verschiedener Weise. Ein Büschel von gleichen Spitzen muss höher geladen werden als die einzelne Spitze desselben, damit Ausströmen eintritt. Man kann

Elektricität nicht aus scharfen Kanten und Schneiden zum Ausströmen bringen, weil es stets aus den begrenzenden Ecken derselben leichter erfolgt.

II. Das Minimumpotential.

Minimumpotential nennt Herr Röntgen[1]) die kleinste Spannung, bei der noch eben Ausströmen stattfindet, also das Potential in dem Augenblick, wo die Entladung aus der Spitze aufhört. Ich will es der Kürze halber mit M. P. und analog die Spannung, bei der die Entladung anfängt, mit A. P. (Anfangspotential) bezeichnen, da es sich im Folgenden wesentlich um eine Vergleichung dieser beiden Größen handelt. Die Versuche ergaben übereinstimmend, daß das Ausströmen erst bei einer Spannung wieder aufhört, die mehr als 1000 Volt kleiner sein kann als die, bei der es anfing.

1. Die einfachste Methode zum Bestimmen des M. P. besteht darin, daß man das Elektrometer in dem Augenblick abliest, wo das Elektroskopblättchen in seine Ruhelage zurückkehrt. Auf diese Weise wurden zum Beispiel folgende Resultate erhalten:

	A. P.	M. P.
I.	+ 3500 Volt	+ 3150 Volt
	− 2750 „	− 2350 „
II.	+ 5100 „	+ 4325 „
	− 3700 „	− 3100 „
III.	+ 5600 „	+ 4650 „
	− 4200 „	− 3250 „

Das Verfahren hat die Schwierigkeit, daß die Bewegung des Blättchens zum Schluss außerordentlich langsam wird und darum schwer zu beobachten ist. Es zeigt sich beim Aufhören des Ausströmens in der That genau dasselbe Verhalten wie beim Beginn. Hier wird erst eine sehr kleine Menge entladen, die später schnell wächst, während dort ein großer Ausschlag erst schnell, aber endlich sehr langsam abnimmt. Die Übergänge aus dem statischen Zustand in den des Ausströmens und

[1]) Röntgen, l. c. pg. 396.

von diesem zurück in den statischen erfolgen also beide allmählich.

2. Das zeigt sich auch, wenn man das Leuchten an der Spitze als Index für A. P. und M. P. benutzt. Für das M. P. ergeben sich dabei ganz analoge Resultate wie bei Beobachtung des Elektroskops. Nachdem das A. P. überschritten ist, wird die Zuleitung zur Leidener Flasche unterbrochen und die Maschine abgestellt. Besonders bei negativer Ladung war dann die allmähliche Abnahme des Lichtpunktes an der Spitze sehr gut zu verfolgen. Der positive Büschel erlischt etwas plötzlicher; doch wurde bei stumpfen Spitzen dann noch längere Zeit Glimmen beobachtet. Ich gebe ein Beispiel. Nachdem bei einer Blitzableiterspitze das Potential auf 199 Skalenteile gestiegen war, wurde die Verbindung mit der Maschine aufgehoben und die Maschine stillgestellt. Unter steter Büschelentladung fiel die Spannung nach und nach auf 173 Skalenteile, dann kam der große Büschel noch einige Male in kurzen Zwischenräumen zum Vorschein, und nun zeigte sich die Spitze mit Glimmlicht bedeckt, das erst bei 163 Skalenteilen erlosch. (1 Skalenteil = 80 Volt.)

3. Übrigens ist hervorzuheben, daß bei so starken Ladungen das M. P. sich davon abhängig zeigt, wie weit über das A. P. hinaus man die Ladung fortgesetzt hat, und wie lange Zeit. Je größer die aus der Spitze entladenen Mengen und je stärker demnach die Ladung der Luft über der Spitze, um so eher hört nach Abschneidung der Elektricitätszufuhr die Entladung auf; denn die starke Elektrisirung der Luft bleibt eine sehr merkliche Zeit bestehen. So kann ein M. P. gefunden werden, das viel größer ist als das zugehörige A. P. Der richtige Wert des M. P., bezogen auf eine ungeladene Umgebung, ist natürlich um das sehr hohe Luftpotential, das oft viele Tausend Volt betragen haben muß, kleiner. Constante Werte für das M. P. sind demnach nur dann zu erhalten, wenn man die Ladung nur bis eben über das A. P. hinaus steigert oder, wenn bei weiterer Steigerung die entladenen Mengen so klein sind, daß mit dem Aufhören des Ausströmens auch die Luft in der Umgebung der Spitze in ihren früheren Zustand zurückgekehrt ist. Deshalb ist bei den Versuchen die Wirksamkeit der Maschine durch Änderung der Nebenentladung (siehe pg. 9) stets soweit herabgestimmt, daß nach dem Über-

schreiten des A. P. das Potential sehr bald constant wurde. Dann war die entladene Menge der zugeführten gleich und sehr klein. Wird in diesem Augenblick die Zuleitung von der Maschine unterbrochen, so erhält man für das M. P. gut übereinstimmende Werte, die immer beträchtlich unter dem A. P. liegen. — Die große Constanz des M. P., die Herr Röntgen bei Entladung zwischen Spitze und Platte in verdünnten Gasen beobachtet hat, ist nur der dort gewählten Versuchsanordnung zuzuschreiben, wie Herr Röntgen auch selbst hervorhebt.[1]) Diese (eine scharfe Spitze stand einer Platte von 132 mm Durchmesser in 19,3 mm Abstand gegenüber) machte die Ansammlung irgend welcher Ladungen im Dielektricum unmöglich.

4. Anfangs- und Minimum-Potential lassen sich aus den Angaben des Elektrometers allein entnehmen, wenn man bei allmählicher Elektricitätszufuhr und späterem Unterbrechen derselben die Änderung des Potentials mit der Zeit verfolgt. Macht man zum Beispiel alle 10 Sekunden eine Ablesung, so zeigt sich, daß die Zunahme des Potentials beim Beginn des Ausströmens plötzlich kleiner wird. Ist das Potential konstant geworden, und überläßt man nun nach dem Abschneiden der Zufuhr die geladene Flasche sich selbst, so fällt die Spannung zunächst sehr schnell, bis die Abnahme nach dem Aufhören des Ausströmens plötzlich kleiner wird, da sie dann allein von der Zerstreuung an die Umgebung und dem Verluste über die isolirenden Glasflächen herrührt.

Um diesen Verlust möglichst zu vermindern, wurde eine Leidener Flasche aus französischem Kristallglas hergestellt, die so vorzüglich isolirte, daß die Abnahme der Ladung in 10 Sekunden nur $^1/_{10}$ Skalenteil betrug. Stellt man den Verlauf des Potentials mit der Zeit in Curven dar, so ergeben sich trotzdem für A. P. und M. P. keine sehr scharf definirten Punkte, ein neuer Beweis für den langsamen Beginn und die allmähliche Abnahme des Ausströmens (siehe Fig. 8). Indessen ist das A. P. schon aus dem Gang der Beobachtungen mit Sicherheit zu erkennen. Ich gebe zum Beispiel den Anfang einer Versuchsreihe mit Nadel 8 (Fig. 6).

[1]) l. c. pg. 393.

Zeit	Spannung in sc.[1])	Zunahme
Sek. 0	0	
10	33,5	33,5
20	58,5	25,0
30	74,5	16,0
40	85,5	11,0
50	95,5	10,0
60	103,5	8,0
70	107,0	3,5
80	110,7	3,7
90	113,7	3,0
100	116,2	2,5
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Aus der Tabelle geht hervor, daß bei 103,5 sc = 8280 Volt das Ausströmen anfing (denn hier fällt die Zunahme des Potentials plötzlich von 8 auf 3,5 Skalenteile), ein Wert, der mit dem früheren gut übereinstimmt. Die zugehörige Potentialcurve (Fig. 8, die obere)[2]) zeigt an derselben Stelle eine Unterbrechung ihrer Stetigkeit. — Der Punkt C der Curve bezeichnet die Spannung im Augenblick, wo die Verbindung der Leidener Flasche mit der Maschine aufgehoben wurde. Von da ab fällt das Potential erst rasch, später sehr langsam. Zur Bestimmung des M. P. verfährt man dann am besten so, daß man die Leidener Flasche an Stelle der Spitze mit einer Kugel versieht und nun die Abnahme des Potentials mit der Zeit beobachtet. Stellt man auch diese Resultate in einer Curve dar und vereinigt sie mit der früheren in der Weise, daß man, von rückwärts beginnend, die gleichen Ordinaten zusammenfallen läßt und dann die Curve fortsetzt, so trennen sich beide Curven an einer bestimmten Stelle, die das M. P. angiebt; denn von hier an war der Verlust in beiden Fällen eine Folge der Zerstreuung allein.

[1]) 1 sc. = 80 Volt.

[2]) sie umfaßt 110 Beobachtungen.

Da, wie man sieht, beide Curven von ihrer Vereinigung an fast genau wie eine gerade Linie verlaufen, so ist die Versuchsreihe mit der Kugel unnötig. Man braucht nur den geradlinigen Teil der Potentialcurve für die Spitze zu verlängern, so gibt der Punkt, indem die Curve sich von dieser Verlängerung trennt, das Minimumpotential. — Die untere Curve zeigt den Verlauf des Potentials für dieselbe Nadel bei negativer Ladung. Ich stelle für Nadel 8 die Resultate hier zusammen.

A. P.	M. P.
+ 8280 Volt	+ 6976 Volt
— 7055 „	— 5440 „

5. Es erübrigt noch eine Bemerkung über die Änderung der Spannung beim Übergang der Büschel in Glimmen. Herr Wesendonck [1]) hat aus mehreren Versuchen den Schluß gezogen, „daß die Spannung beim Ersetzen der Büschel durch Glimmen beständig ansteigt.“ In den oben angeführten Versuchen (pg. 28) wurde dagegen bei abnehmender Spannung erst Büschelentladung, später Glimmen beobachtet. Das Glimmen erlosch erst bei einer um 800 Volt kleineren Spannung als diejenige war, die dem letzten Aufblitzen eines Büschels entsprach. Demnach ergiebt sich das Resultat, daß eine Änderung der Lichterscheinung an der Spitze nicht notwendig eine Änderung der Spannung in einem bestimmten Sinne zur Folge hat oder durch sie bedingt wird.

III. Über die durch Spitzen entladene Elektricitätsmenge und ihre Beziehung zum Potential.

Die Kenntnis der aus Spitzen entladenen Elektricitätsmenge in ihrer Beziehung zum Potential bietet das besondere Interesse, daß sie eine wenigstens angenäherte Vorstellung von der Menge gewinnen läßt, die durch einen Blitzableiter zur Entladung gebracht werden kann. Allerdings bedarf die hierbei nötige Extrapolation aus Ergebnissen von Laboratoriumversuchen auf

[1]) Wesendonck, einige Beobachtungen über Büschelentladungen. Wied. Ann. 40, pg 481 (1890.)

Verhältnisse, wie sie in der Natur unmittelbar gegeben sind, einer besonderen Rechtfertigung, denn sie ist gerade in diesem Falle oft mißbraucht worden.

1. Die gewählte Versuchsanordnung ist im Wesentlichen die früher beschriebene mit Benutzung des Galvanometers. Die innere Belegung einer Leidener Flasche wurde mit der einen Klemme eines du Bois-Reymondschen Multiplikators verbunden, während die andere Klemme einen Draht trug, der in die Spitze endigte. Die gesamte durch die Spitze entladene Elektricitätsmenge durchfloß demnach die 12000 Windungen des Multiplikators und konnte so gemessen werden. Das Instrument war für Spiegelablesung eingerichtet worden und konnte vom Sitz des Beobachters gleichzeitig mit dem Elektrometer abgelesen werden. Der Multiplikator wurde durch einen Richtmagneten auf passende Empfindlichkeit gebracht und dann mit Hülfe eines Daniellelements von bekannter elektromotorischer Kraft unter Anwendung verschieden großer Nebenschlußwiderstände nach Ampère graduirt. Die Resultate wurden in einer Curve dargestellt, aus welcher die den abgelesenen Skalenteilen entsprechenden Stromstärken durch graphische Interpolation entnommen sind. Die Ausschläge waren sehr nahe den Stromstärken proportional; 1 Skalenteil entsprach rund $2{,}7 \times 10^{-9}$ Ampère. Der Widerstand des Galvanometers betrug 2417 Ohm. Durch eine zwischen den Maschinenelektroden angebrachte Nebenentladungsstrecke, aus zwei Spitzen bestehend, die einander mehr oder weniger genähert oder auch ganz entfernt werden konnten, war es möglich, die Ladung der Leidener Flasche auf jedem beliebigen Potential konstant zu erhalten. Die Versuche wurden so angestellt, daß durch Änderung der Nebenentladung die Spannung von sehr kleinen Werten ausgehend in mäßigen Intervallen gesteigert und zu der jeweiligen konstanten Elektrometereinstellung die zugehörige Stromstärke am Galvanometer abgelesen wurde. Das Anfangspotential, das also der Stromstärke Null entspricht, war durch die beginnende Bewegung der Galvanometernadel sehr scharf definirt. Mit wachsender Spannung steigt die Stärke des Entladungsstromes an; bei höheren Potentialen schwingt die Galvanometernadel insbesondere bei negativer Ladung um ihre jedesmalige Ruhelage mit einer Amplitude, die schließlich 5 Ska-

lenteile beträgt. Ihre Bewegung war viel ruhiger bei positiver Ladung.

2. Von der zwischen Strom und Spannung bestehenden Beziehung läßt sich am leichtesten eine Anschauung gewinnen, wenn man die Stromstärken zu Ordinaten, die zugehörigen Werte der Spannung zu Abscissen einer Curve macht. Die Tafel Fig. 9 zeigt mehrere solche Curven für verschiedene Spitzen bei positiver Ladung. Alle Curven beginnen auf der Abscissenaxe mit dem Anfangspotential [1]). Sie haben im wesentlichen den gleichen parabolischen Charakter; die entladene Menge wächst erst langsamer, später nahezu proportional der Spannung. Bei gleicher Spannung wird aus der schärferen Spitze die größere Menge entladen; doch scheinen die Unterschiede in der Spitzenbeschaffenheit bei hohen Spannungen allmählich zu verschwinden. Da für negative Ladung im allgemeinen das Anfangspotential kleiner ist, so ist bei gleicher Spannung die entladene Menge negativer Elektricität größer. Die Übereinstimmung der Resultate verschiedener Versuchsreihen war bei positiver Ladung eine recht gute. Ich gebe zum Beispiel die der gleichen Stromstärke von 100×10^{-9} Ampère entsprechenden Spannungen nach 6 Versuchsreihen mit derselben Spitze. (Nadel 5, Fig. 6).

	Spannung	Strom
22. Juli	+ 8275 Volt	100×10^{-9} Amp.
22. „	8000 „	
23. „	8200 „	
24. „	8150 „	
30. „	8050 „	
2. Aug.	8450 „	

3. Natürlich kann man auch so verfahren, daß man von hohen Spannungen beginnend die Intensität der Entladung allmählich auf Null herabmindert. Man erhällt dann ganz analoge Curven, die sich nur in ihrem letzten Teil mehr der Abscissenaxe anschmiegen wegen der zuletzt sehr langsamen

[1]) über Curve (M) siehe 3.

Abnahme der ausströmenden Elektricitätsmenge. (vgl. II, 1 u. 2, pg. 27 u. 28). Der Vereinigungspunkt der Curve mit der Abscissenaxe giebt das Minimumpotential. (siehe Curve [M]). Wegen der Ladung der Luft werden auch hier leicht zu hohe Werte gefunden.

4. Um die Menge schätzen zu können, die aus einem Blitzableiter durch „ruhigen Ausgleich" entladen wird, ist es nötig, einige vereinfachende Annahmen zu machen. Die gesamte Ladung einer Gewitterwolke von 1 Quadratkilometer Größe sei auf dieser als Flächenbelegung verteilt. Die Wolke bildet mit der Erdoberfläche einen Plattenkondensator; daher ist die auf ihr befindliche Elektricitätsmenge gegeben durch

$$E = V \cdot \frac{F}{4 \pi h}$$

wenn V das Potential, F die Fläche der als eben vorausgesetzten Wolke und h die Dicke der isolirenden Schicht, hier also die Höhe der Wolke über der Erdoberfläche bezeichnet. Für diese Höhe kann man 1000 m als einen wahrscheinlichen Wert annehmen [1]). Das Potential V läßt sich schätzen aus der Länge eines Blitzstrahls zwischen Wolke und Erde, im Minimum 1000 m, wenn man gemäß den Beobachtungen über Funkenpotentiale der Einfachheit halber für je 1 mm Funkenlänge 4000 Volt rechnet. Dann folgt für V $^4/_3 \cdot 10^7$ C G S elektrostat. Drückt man alle Längen in Centimetern aus, so ergiebt sich für die Ladung der Gewitterwolke

$$E = \frac{1}{3 \pi} \cdot 10^{12} \text{ C G S elektrost.}$$

oder, da die elektrostatische Mengeneinheit gleich $^1/_3 \cdot 10^{-9}$ Coulomb ist

$$E = \frac{1}{9 \pi} \cdot 10^3 \text{ Coulomb.}$$

$$E = 35{,}4 \text{ Coulomb.}$$

Zur Bestimmung der Stärke des Entladungsstroms aus dem Blitzableiter bei einer Spannung, die dem Blitzpotential gleich ist, benutzen wir die für eine Blitzableiterspitze bei Versuchen

[1]) 1000 m ist ein Mittelwert, den ich aus eigenen Beobachtungen an zwei Gewittertagen durch Schätzung der Höhenwinkel von Blitzen und Messung der Zeit zwischen Blitz und Donner gewonnen habe; man sehe auch Eckholm und Hagström, Meteorol. Zschr. 4, 73–78 (1889.)

mit der Influenzmaschine erhaltene Curve, Tafel Fig. 9. Zwar entspricht diese Curve dem Ausströmen gegen einen in $3^1/_4$ m Abstand befindlichen Leiter (die Zimmerdecke), doch zeigt der fast genau parallele Verlauf aller Curven, die sich auf sehr stark verschiedene Spitzen beziehen, daß die Zimmerdecke bei den gegebenen Spannungen schon als praktisch unendlich entfernt anzusehen ist. Daher darf die Blitzableitercurve auch auf den vorliegenden Fall angewendet werden, wo die Spitze einer Wolke in 1000 m Entfernung gegenübersteht. Der Verlauf der Curve ist schon von einer Spannung von 16000 Volt an fast völlig geradlinig. Wir dürfen daher die Annahme machen, daß der Strom von da ab proportional der Spannung wächst. Dann ergiebt sich für das Blitzpotential von $4 \cdot 10^9$ Volt eine Stärke des Entladungsstromes von 0,0567 Ampère. Durch die Erfahrungen, die wir über die Stärke der Büschelentladung bei Gewittern haben, wird der Wahrscheinlichkeit eines solchen Wertes mindestens nicht widersprochen.

5. Diese Stromstärke herrscht nur bei der größten möglichen Spannung; sie nimmt mit abnehmender Spannung bis zu Null ab. Stellen wir die Frage so, daß wir die Zeit bestimmen, in der die Wolke durch einen Blitzableiter entladen werden würde, so können wir daher annehmen, daß während dieser ganzen Zeit eine mittlere Entladungsstromstärke von 0,028 Ampère herrscht. Diese bringt dann in jeder Sekunde 0,028 Coulomb zur Entladung, und danach wäre die gesamte Elektricität der Wolke in 21 Minuten ausgeglichen. Nun ist aber zur Verhinderung des Blitzschlags ja nur nötig, daß die Spannung um einen ausreichend großen Betrag unter den zur Funkenbildung erforderlichen Wert erniedrigt wird.

Könnten wir also die Wolke überhaupt mit einem geladenen Conductor vergleichen, so dürfte man sich auf Grund dieser Ergebnisse ernstlich die Frage vorlegen, ob es nicht möglich sein könne, durch Aufstellung einer hinreichend großen Zahl von Blitzableitern das Entstehen von Gewittern überhaupt zu verhindern.

6. In Wahrheit ist ein solcher Vergleich unmöglich. Vielmehr muß man daraus, daß bei Gewittern die Blitzschläge sich in so kurzer Zeit folgen und oft in großer Zahl gleichzeitig auftreten, auf die Wirksamkeit ganz ungeheurer Elektricität erregender Kräfte in den Wolken schliessen. An derselben

Stelle, wo wir soeben einen Blitz bemerkten, zeigt sich oft im nächsten Moment schon ein neuer. Gegenüber dieser gewaltigen Geschwindigkeit in der Wiederbildung neuer Ladungen ist die ausgleichende, Blitzschläge verhindernde Wirksamkeit der Spitzen völlig verschwindend, ganz abgesehen davon, daß es viele Fälle giebt, in denen der Einfluß der Spitzen überhaupt nicht zur Geltung kommen kann, wie bei der Hervorrufung eines Blitzschlags durch einen andern [1]). Auch zeigt die Erfahrung, daß keine Abnahme in der Intensität der Gewitter zu bemerken ist, selbst wo sehr viele Spitzen vorhanden sind. Denn man dürfte nicht annehmen, daß eine Stadt mit ihren Kirchtürmen, Kaminen, hervorragenden Gebäuden und andern Blitzableitern ganz ohne wahrnehmbaren Einfluß auf die Gewitter wäre, wenn nicht die Bildung neuer Elektricitätsmengen mit so großer Schnelligkeit erfolgte.

Zum Schluß bleibt mir die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Hertz, für die Anregung zu dieser Arbeit und die stete Förderung, die er mir zuteil werden ließ, meinen innigsten Dank auszusprechen.

[1]) Über diesen Gegenstand sehe man die vortreffliche Arbeit von O. Lodge: On Lightning Conductors, Electrician Vol. XXI, 234, (1888), auch später ebenda.

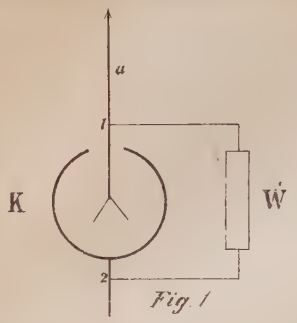
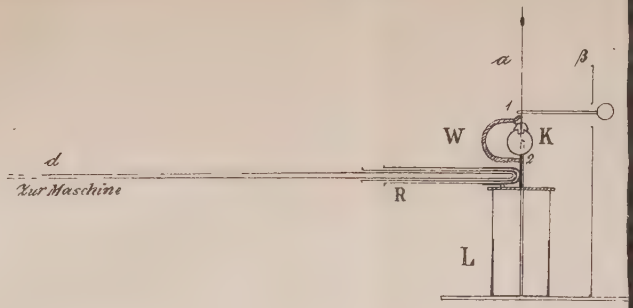


Fig. 1



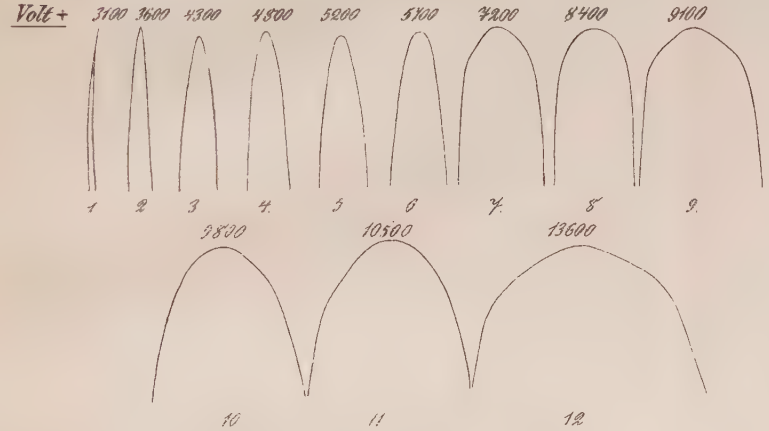


Fig. 6.

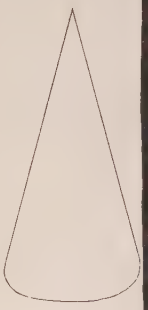


Fig. 7.

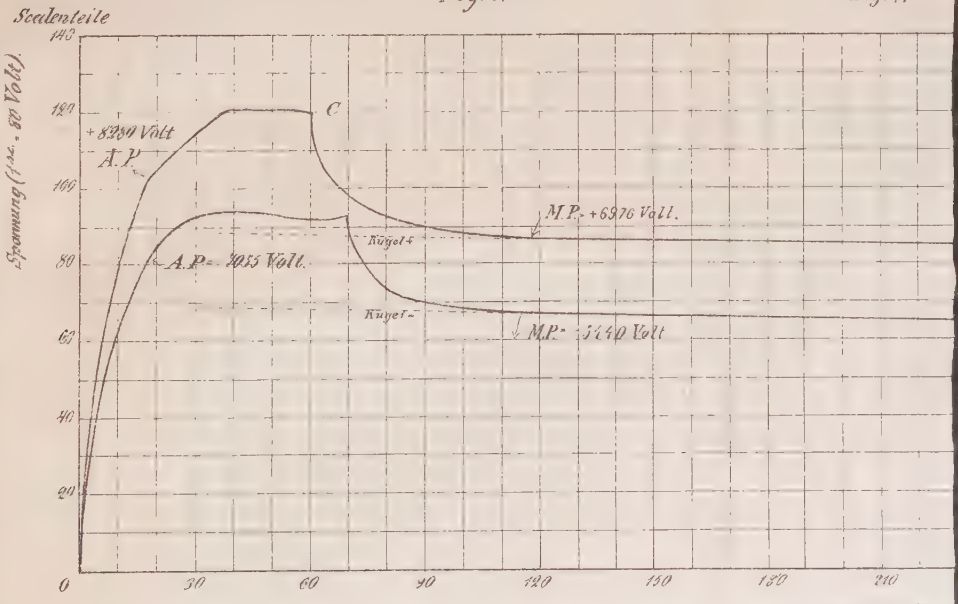
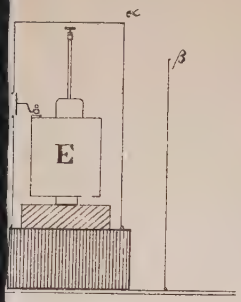


Fig. 8.



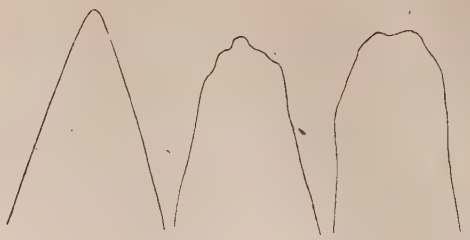


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

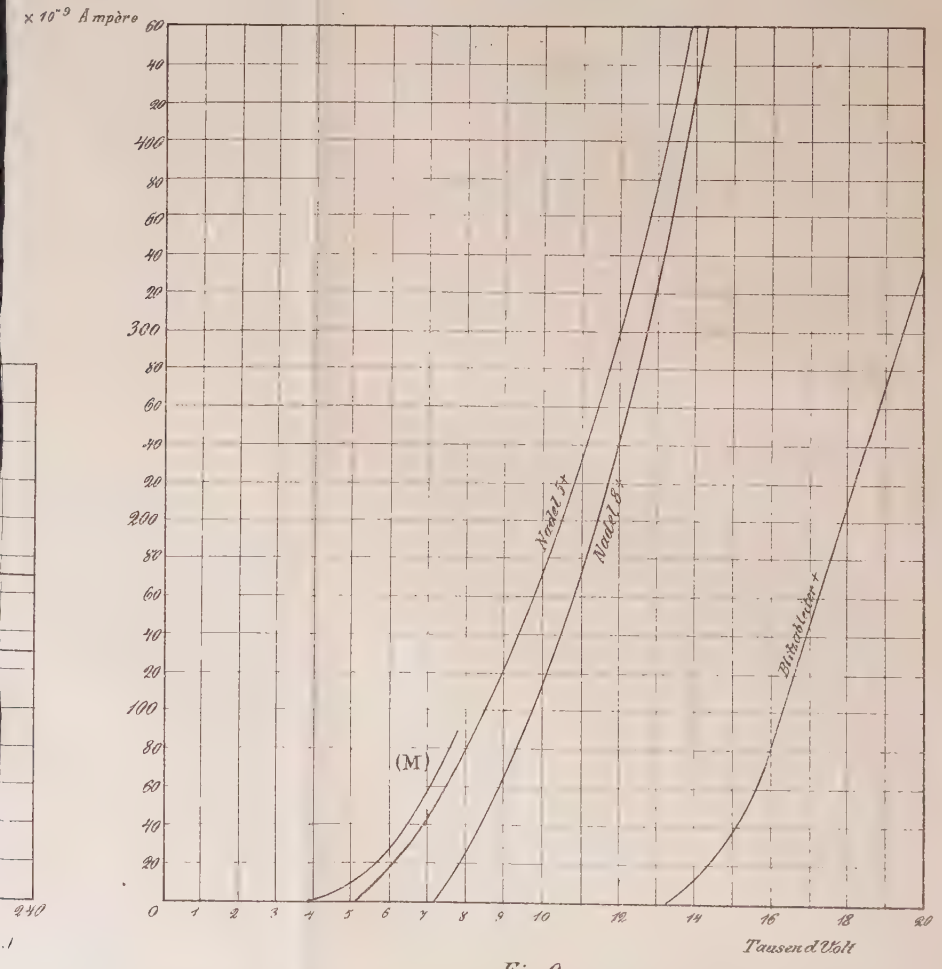


Fig. 9.

Lebenslauf.

Ich, Julius Precht, wurde geboren am 28. Juni 1871 zu Bremen als der Sohn des Steindruckereibesitzers Ernst Friedrich Precht, (gest. 1887) und der Clara, geb. Westendorf. Nach dem Besuch einer Vorbereitungsschule trat ich 1880 in die Realschule beim Doventhor zu Bremen ein, die ich mit dem Reifezeugnis derselben 1887 verließ, um in das bremische Realgymnasium überzutreten. Diesem gehörte ich zwei Jahre an. Nach bestandener Maturitätsprüfung bezog ich, um Physik und Mathematik zu studiren, die Universität Heidelberg, später Berlin, dann wieder Heidelberg und endlich Bonn, Ostern 1891 bis Michaelis 1892. Stets war ich bei der philosophischen Fakultät inscribirt. Im October 1892 wurde ich Assistent des physikalischen Instituts zu Münster W. Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Docenten

in Heidelberg: Brühl, Cantor, v. Duhn, Fischer, Koenigsberger, Quincke, Wolf;

in Berlin: Ebbinghaus, Helmert, v. Helmholtz, Hensel, Hettner, Kundt, Neesen, Paulsen, Weinstein;

in Bonn: Hertz, Lipschitz, Lorberg.

Thesen.

1. Für die Erklärung der elektrostatischen Erscheinungen darf die Theorie zweier elektrischer Fluida, als durch die historische Entwicklung gegeben, einstweilen beibehalten werden.

2. Die geometrischen Verhältnisse der elektrischen Wellenbewegung sind identisch mit denen der Lichtbewegung, doch ist der Nachweis, daß beide Erscheinungsgruppen auch ihrer physikalischen Natur nach übereinstimmen, noch zu erbringen.

3. Naturvorgänge, deren Gesetzmäßigkeit sich durch die Lagrangeschen Bewegungsgleichungen darstellen läßt, sind auf unendlich viele Weisen mechanisch erklärbar.

4. Endziel der Physik ist die Beschreibung jeder Erscheinung durch eine Bewegungsgleichung des Äthers.